Сжигание сельскохозяйственных отходов и его воздействие на климат Арктики

Эшли Петтус,

Рабочая группа по чистому воздуху

(Clean Air Task Force)

Май 2009

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

CLEANAIR
TASK FORCE

Clean Air Task Force (Рабочая группа по чистому воздуху, CATF) является некоммерческой организацией. Ее работа посвящена целям сокращения атмосферных загрязнений с помощью научных исследований, общественной деятельности и сотрудничества с предприятиями частного сектора.

Данная работа состоялась при поддержке ClimateWorks, международной организации, работающей в области сокращения выбросов парниковых газов, а также благодаря вниманию и помощи, оказанной Мадурой Кулькарни (Madhura Kulkarni), Йоханном Гольдаммером (Johann Goldammer), Эмбер Сойя (Amber Soja) и Стефанией Коронци (Stefania Korontzi). Тем не менее, выводы, приведенные в работе, отражают единственно и исключительно мнения CATF.

CATF, головной офис
18 Tremont Street
Suite 530
Boston, MA 02108
617.624.0234
info@catf.us
www.catf.us

Краткий обзор

За последние сто лет темпы потепления в Арктике почти вдвое превысили скорость повышения температур в среднем по планете. Притом, что основная вина за столь резкое потепление лежит на возросших выбросах углекислого газа и других парниковых газов, полярные территории Земли также оказались чрезвычайно уязвимыми к т. н. загрязнителям краткосрочного действия – газам и аэрозолям, перемещаемым в Арктику воздушными потоками из более южных широт и влияющим на ее климат в краткосрочном масштабе. Согласно последним оценкам, на сегодняшний день не менее 30% от сложившейся динамики повышения температур в Арктике можно отнести за счет воздействия выбросов черного углерода – или сажи, загрязнителя, который образовывается при неполном сгорании биомассы и ископаемого топлива. Отложения частиц черного углерода на арктических поверхностях в весенний период представляют особую угрозу для полярного климата ввиду своей способности ускорять таяние снега и льда.

Сжигание сельскохозяйственных отходов – процесс, при котором пожнивные остатки и кустарники удаляются с полей перед новым засевом или с пастбищ для того, чтобы освободить их под выпас скота, – является причиной, по которой значительное количество выбросов черного углерода от сгорания биомассы поступает в арктические широты весной. Результаты дистанционного обнаружения горения биомассы в областях, не занятых лесными массивами, а также анализ моделей химического переноса и баз данных по выбросам от пожаров, показывают, что концентрации черного углерода, образующиеся в ходе сжигания стерни, наиболее высоки на территориях евразийского континента – от Восточной Европы до юга России и Сибири и до северо-восточного Китая – а также на севере т. н. «зернового пояса» Северной Америки. Наибольшие концентрации черного углерода исходят, в порядке убывания, от России, Казахстана, Китая, Соединенных Штатов, Канады и Украины.

Во многих странах имеются нормативные требования по сжиганию послеуборочных органических остатков, однако выполняются они слабо. В России и Казахстане существует официальный запрет на сжигание растительных отходов

на открытом воздухе, и тем не менее, на земледельческих угодьях и территориях, ранее использовавшихся для сельскохозяйственных целей, выжигание растительности происходит часто, и нередко огонь перекидывается на соседние луга и леса, становясь причиной масштабных пожаров. В Китае на сжигание стерни также официально наложен запрет, однако и в этой стране подобная практика широко распространена – особенно на северо-востоке, где выбросы черного углерода как раз с наибольшей вероятностью способны приводить к загрязнению климата Арктики. В США и Канаде действуют различные нормативные требования, меняющиеся в зависимости от конкретного штата или провинции, которые нацелены на то, чтобы ограничить воздействие от сжигания сельскохозяйственных отходов на качество воздуха и не допустить повреждения соседних участков. При этом, эти нормативы позволяют проводить выжигание органических остатков в «необходимых» случаях.

Весеннее сжигание пожнивных остатков – само по себе явление, как правило, не столь продолжительное и меньшее по масштабам, чем лесные пожары, – наносит, тем не менее, немалый вред ввиду кумулятивного эффекта на уровни загрязнения Арктики. Выбросы от горения биомассы переносятся в Арктику и отлагаются на ее поверхностях в период наибольшей подверженности морского льда таянию. Кроме того, при медленном горении на низких температурах, тлеющие остатки выбрасывают в атмосферу более высокие концентрации продуктов неполного сгорания. Таким образом, очевидно, что необходимо принимать меры по снижению воздействия сжигания сельскохозяйственных отходов. Недавние успехи в дистанционном обнаружении горения биомассы и методах моделирования позволяют теперь с большей эффективностью определять источники выбросов от горения сельскохозяйственных отходов и измерять их относительное воздействие на климат. В то же время, есть надежда, что открытое сжигание стерни в полях может вскоре уступить место альтернативным решениям, предлагаемым новыми сельскохозяйственными технологиями, такими как газификация соломы и утилизация растительных отходов путем производства биоугля. Задача сокращения воздействия черного углерода на климат Арктики требует объединения усилий каждого конкретного региона-источника выбросов в общем,

согласованном подходе, в котором экономически привлекательные инновации гармонично сочетались бы с усиленным мониторингом и должной реализацией нормативных требований.

Введение

В апреле 2008 г. в самой северной точке Аляски собрались три команды ученых-климатологов[1]. Они приехали изучать явление, ставшее известным под названием «арктический смог» – феномен, наступающий поздней зимой и ранней весной, во время которого слои переносимых воздушными потоками загрязнений окутывают туманом нижние ярусы арктической атмосферы. На специально оборудованных самолетах исследователи провели несколько полетов над полярной частью Аляски, собирая данные об «арктическом смоге». Результаты исследований поразили ученых: За один только месяц полетов было обнаружено не менее 50 дымовых «факелов», тянущихся через Арктику от пожаров, горевших за более чем 3 тыс. миль от Аляски, в Евразии. Анализ дымовых столбов и спутниковые фотографии показали, что источниками загрязнений явились Северный Казахстан и юг России, где горели сельскохозяйственные угодья, а также южная Сибирь, где бушевали лесные пожары. Выбросы, попадавшие в Арктику из этих мест, намного превысили загрязнения от сжигания ископаемого топлива, что было бы более ожидаемым явлением в это время года. «Эти выбросы не были включены в наши обычные прогнозы», – сказал Дэниел Джейкоб, профессор по атмосферной химии и экологическим технологиям Гарвардского университета и член группы, работающей по проекту ARCTAS. – «Их не было в наших моделях».

В последнее столетие Арктика теплеет в два раза быстрее, чем вся остальная планета. Повышение температуры уже привело к стабильному сокращению протяженности арктического морского льда, ускоренному таянию

---

[1] В их число входили участники следующих проектов: «Самолетные и спутниковые исследования состава арктической тропосферы» Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA's Arctic Research of the Composition of the Troposphere from Aircraft and Satellites, ARCTAS); полевой эксперимент «Аэрозоли, облачность и радиационные процессы, влияющие на климат Арктики» Национального управления по океану и атмосфере США (NOAA's Aerosol, Radiation, and Cloud Processes Affecting Arctic Climate field experiment, ARCPAC); и «Кампания по оценке непрямого и полупрямого воздействия аэрозолей» Министерства энергетики США (Department of Energy's Indirect and Semi-Direct Aerosol Campaign, ISDAC). Проекты были организованы в рамках программы «Международный полярный год 2007-2008».

вечной мерзлоты, а также изменениям в растительном покрове – отмечается большее распространение некоторых видов деревьев и кустарников. Как и в случае глобального потепления как такового, так и конкретно в Арктике, повышение температур в полярных широтах явилось, в основном, результатом скопления слишком высоких концентраций углекислого газа (двуокиси углерода, или CO_2), которые удерживают все большее количество тепловой энергии Земли у ее поверхности, препятствуя выходу тепла за пределы атмосферы. В то же время Арктика также чрезвычайно уязвима к т. н. «краткосрочным» загрязнителям – газам и аэрозолям, которые характеризуются намного меньшей, чем у CO_2, продолжительностью жизни в атмосфере. Краткосрочные загрязнители попадают в полярную атмосферу путем воздушного переноса из средних широт и оказывают воздействие на радиационный баланс Арктики в ограниченных временных рамках.

Притом, что ученым было давно известно о том, что лесные пожары являются источником значительной части загрязнений в Арктике, особенно в сухие летние месяцы, такому явлению как сжигание сельскохозяйственных растительных отходов уделялось меньше внимания. Речь идет о менее масштабных площадях горения – скорее, о больших кострах, специально разжигаемых для удаления стеблей сельскохозяйственных культур после уборки урожая или для расчистки пастбищ от кустарников для последующего выпаса скота, однако, эти костры часто разрастаются, распространяясь на соседние участки, неся опасность для жизни населения и целостности окружающих земель и собственности, а также серьезно ухудшая качество воздуха. Весной костры на сельскохозяйственных землях представляют собой особую угрозу для благополучия арктического климата. Дым от этих костров переносится в Арктику, откладывая частицы сажи – или черного углерода – на поверхности снега и льда, что увеличивает способность поверхности поглощать солнечные лучи и, вероятно, приводит к более раннему наступлению весеннего таяния.

Широкомасштабные усилия, направленные против практики сжигания сельскохозяйственных растительных отходов, могли бы помочь снизить количество краткосрочных загрязнителей, попадающих в атмосферу Арктики, и позволили бы выиграть время, покуда более долгосрочные механизмы

сокращения выбросов углекислого газа не принесут ожидаемого эффекта. Но любая конструктивная стратегия борьбы с последствиями этой губительной практики требует для начала четкого представления о том, где и в каких масштабах она распространена, какова ее сезонная частота, и как конкретно она влияет на процесс изменения климата. Большая часть знаний об этой проблеме только сейчас становится доступной для нас. В данном докладе предлагается предварительная оценка сложившейся ситуации.



Слой дыма над западной Аляской, 6 апреля 2008 г. Источником дыма послужило горение биомассы. Материал предоставлен Кэмероном Макноутоном (Cameron McNaughton), проект ARCTAS.



Дымовой смог над Хребтом Брукса (Брукс-Рейндж, в северной части Аляски), 13 апреля 2008 г. Материал предоставлен Кэмероном Макноутоном (Cameron McNaughton), проект ARCTAS.

Горение биомассы и концентрации черного углерода в Арктике – недооцененные факторы изменения климата

Сжигание растительной массы практикуется уже много тысяч лет – так человек исстари обеспечивал себе источник тепла для обогрева и приготовления пищи, этот же способ он применял при возделывании земли. В конце 1970-х гг. ученые начали подозревать, что открытое горение биомассы (под этим термином подразумеваются как лесные пожары, так и специально разведенные большие костры) играет серьезную роль в увеличении глобальных уровней загрязнения и влияет на климат Земли (Langmann 2009, Seiler 1980). При горении растительная масса выделяет в атмосферу огромное количество двуокиси углерода и других парниковых газов. В окружающую среду также попадают большие скопления микроскопических аэрозольных частиц, включая частицы черного углерода, или, попросту, сажи. Частицы черного углерода образовываются в результате неполного сгорания древесины и прочих видов топлива растительного

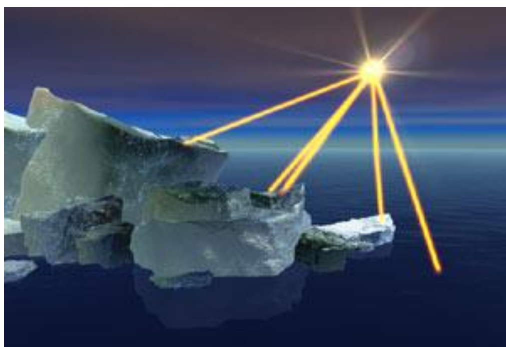
происхождения, а также ископаемого топлива. В густонаселенных областях содержащие сажу твердые аэрозольные частицы – или твердые примеси в атмосфере – способны привести к росту респираторных заболеваний среди населения, что уже побудило власти во многих промышленно развитых странах ввести нормативное регулирование в области выбросов от использования ископаемого топлива и сжигания биомассы на открытом воздухе. В последние несколько лет роль, которую черный углерод играет в глобальном потеплении, вновь привлекла к себе внимание ученых, в распоряжении которых теперь имеются более совершенные методы климатического моделирования и атмосферных измерений.

Попадая в Арктику вместе с дымом, твердые примеси с содержанием частиц черного углерода остаются в атмосфере в течение примерно недели. За это время они способны привести к нескольким различным нарушениям климатического баланса в окружающей среде. Во-первых, находясь в арктической тропосфере, внутри и непосредственно над «смоговым» слоем, частицы черного углерода начинают поглощать солнечные лучи, которые из-за этого не достигают поверхности Земли. При нагревании тропосфера излучает нисходящую длинноволновую радиацию. В конечном результате это приводит к нагреву поверхности Земли (Quinn et al. 2008). Другим механизмом воздействия черного углерода на арктический климат является его роль в сокращении отражательной способности поверхностей, или альбедо. При «вымывании» из атмосферы частицы сажи оседают на покрытых снегом и льдом арктических поверхностях, затемняя их столь незаметно, что этот процесс, как правило, не виден невооруженному глазу. И тем не менее, даже такие малые концентрации черного углерода могут намного снизить способность поверхности отражать солнечные лучи. Пока температура поверхности повышается, кристаллы снега сцепляются между собой, слипаясь в более плотные соединения с грубой зернистой структурой, которые начинают еще больше поглощать солнечную энергию, вызывая ускоренный ход таяния. Исследования проб арктического снега из Сибири и Гренландии показали, что во время таяния частицы сажи часто не вымываются с талой водой, а вертикально распределяются внутри снежной массы. Таким образом, пока снег тает, частицы черного углерода держатся на его поверхности, и их негативное

воздействие на отражательную способность снега усиливается (Warren 2008). В свою очередь, оставшиеся без защитного снежного и ледяного покрова поверхности арктических морей и территорий начинают поглощать еще большее количество солнечной радиации – процесс нагревания поверхностей становится все более интенсивным. Эта цепочка реакций на климатическое воздействие, также известная как эффект положительной обратной связи между снегом и альбедо, максимально проявляется весной, когда количество солнечных дней увеличивается и наступает период сезонного таяния (Flanner et al. 2007).



Лед и снег отражают солнечные лучи.



Отложения черного углерода затемняют поверхности и сокращают их отражательную способность.

Источник: Институт космических исследований Годдарда Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA Goddard Institute for Space Sciences, GISS).

Несмотря на то, что уверенно определить степень влияния на климат последствий взаимодействия черного углерода и арктического снега пока трудно, по приблизительным оценкам, на их долю приходится около 10% от всей динамики антропогенных изменений климата в глобальном масштабе и до 30% потепления в арктических широтах (Flanner et al. 2007). Из-за совокупного эффекта повышения температуры, которое черный углерод вызывает и в

атмосфере Арктики, и на ее поверхностях, этот краткосрочный загрязнитель может привести к намного более интенсивному «прогреванию» Арктики, чем любой другой агент воздействия, за исключением углекислого газа (Zender 2007, Flanner et al. 2007). При этом, будучи аэрозолем, черный углерод также способствует образованию облачности, которая имеет охлаждающий эффект. Впрочем, роль черного углерода в образовании арктических облаков до конца не изучена (Lubin and Vogelmann 2007, Quinn et al. 2008).

Согласно инвентарным данным по атмосферным выбросам за 2000 г., на горение биомассы приходится примерно 42% глобальных годовых выбросов черного углерода (Bond 2007). Горение биомассы – основной источник концентраций черного углерода, поступающих в атмосферу Арктики. При этом, в годы, характеризующиеся воздействием теплого течения Эль-Ниньо, по причине лесных пожаров, арктические концентрации черного углерода увеличиваются (Flanner et al. 2007). В один из таких периодов, в 1998 г., из-за интенсивных лесных пожаров в бореальных лесах Канады и восточной Сибири средний годовой уровень содержания черного углерода в снежных массах Арктики оказался на 44% выше по сравнению с 2001 г., «нормальным» годом, не отмеченным влиянием феномена Эль-Ниньо. В летние месяцы 2001 г. 36% концентраций черного углерода попали в Арктику из-за лесных пожаров, в то время как за тот же период в 1998 г. на лесные пожары пришлось 60% загрязнений черным углеродом (Flanner et al. 2007).

Эти данные не отражают относительную долю антропогенных – в первую очередь, сельскохозяйственных – источников выбросов в общем содержании выбросов черного углерода от горения биомассы. Воздействие, оказываемое лесными пожарами на уровни загрязнения Арктики, в силу их масштабов, продолжительности и близости к арктическим широтам, – явление, имеющее очевидный и легкоизмеримый эффект, который, по-видимому, только усиливается с ходом глобального изменения климата (Randerson et al. 2006, Soja et al. 2007). Однако появляется все больше оснований считать, что горение биомассы как результат сельскохозяйственной деятельности сильно недооценивалось в качестве источника арктических концентраций черного углерода. Несмотря на то, что по объемам сгорающей биомассы сжигание сельскохозяйственных отходов на

порядок отстает от лесных пожаров, пропорциональный «взнос» от этой практики в общее содержание черного углерода в полярной атмосфере может быть куда значительнее. Пробы дыма, взятые в атмосфере над Аляской в апреле 2008 г., показали более высокую долю содержания частиц черного углерода в дымовых столбах, тянущихся от территорий, где имело место сжигание растительной массы в сельскохозяйственных целях, по сравнению с дымовыми факелами, исходившими от лесных пожаров. В этом нашел отражение тот факт, что горение биомассы при сжигании сельскохозяйственных отходов происходит при более низких температурах, при которых биомасса скорее тлеет, чем горит, в результате, выбрасывая в атмосферу большее количество продуктов неполного сгорания (Warneke et al. 2009). Эпизоды с наиболее тяжелым загрязнением арктической атмосферы последних лет позволяют утверждать, что сжигание пожнивных остатков представляет собой глобальную экологическую угрозу, а сочетание климатических факторов и особенностей традиционной человеческой жизнедеятельности может сделать эту опасность еще более ощутимой.

Как дым попадает в Арктику в весенний период

Весной 2006 г., за два года до того, как учеными были сделаны неожиданные выводы об источниках арктического смога в Аляске, на норвежском острове Свальбард был зафиксирован самый высокий уровень концентраций черного углерода за всю историю наблюдений в европейской Арктике. Дым появился в конце апреля – начале мая. «Многие из нас приняли этот дым за пыльцу», – признается Андреас Столь (Andreas Stohl), старший научный сотрудник Норвежского института исследований воздуха (Norsk Institutt for Luftforskning, NILU). Исследователи также зарегистрировали рекордный для этой местности уровень аэрозольной оптической толщины – показателя видимости в дневное время – который явился причиной заниженной видимости, а также серьезных нарушений в процессах передвижения солнечного излучения в атмосфере. Кроме того, что было еще более необычным открытием, отлагавшаяся на поверхностях сажа покрывала снег заметным темным слоем, сокращая отражательную способность поверхностей.

С помощью данных спутниковых наблюдений и модельных исследований рассеивания частиц, – проведенных на модели переноса по Лагранжу, разработанной в институте NILU и известной как FLEXPART, – ученым удалось проследить дымовые загрязнения в Арктике до их источников, сельскохозяйственных костров в Восточной Европе. Как писала в то время выходящая в Прибалтике англоязычная газета «The Baltic Times», сезонное сжигание стерни на сельскохозяйственных площадях на западе России, в Беларуси и на Украине, переросло в неуправляемый пожар, охвативший соседние леса и в Латвии даже приведший к гибели пяти человек (Stohl et al. 2007). Дым от этих пожаров неделями держался в воздухе над Финляндией, где местными учеными были зарегистрированы опасные для здоровья уровни содержания мелких твердых частиц в атмосфере (Antilla et al. 2008).



Вид на островом Свальбард, Норвегия, до появления дымовых столбов от сельскохозяйственных костров в Восточной Европе. Снимок сделан 26 апреля 2006 г..



То же место, 2 мая 2006 г. Снимок сделан после того, как дым от сжигания сельскохозяйственных отходов в Восточной Европе достиг Свальбарда.

Материалы предоставлены Анн-Кристин Енгвалль (Ann-Christine Engvall).

Процесс переноса дымовых загрязнений в Арктику обуславливается рядом климатических факторов. Метеорологи установили, что для того, чтобы газы и аэрозольные частицы смогли проникнуть в своеобразный закрытый купол холодного воздуха, формируемый над тропосферой Арктики пластами постоянной потенциальной температуры и изолирующий нижние слои тропосферы от остальных слоев атмосферы, источник загрязнений должен лежать в широтах, где также превалируют низкие потенциальные температуры (Carlson 1981, Iversen 1984, Barrie 1986). Таким образом, для уровней загрязнений в Арктике меньшее значение имеют области, располагающиеся южнее 40˚ широты, вне пределов протяженности купола холодного воздуха, также известного как «арктический фронт», т. к. в среднем, в этих регионах сохраняется слишком теплая погода. Формированию феномена зимнего арктического смога способствуют как раз более холодные области Северного полушария. В случае выбросов от горения

биомассы одним из факторов «успешного» переноса являются благоприятные погодные условия, не препятствующие горению растительной массы. В 2008 г. «сезон костров» в Сибири и России из-за незначительного выпадения снега начался рано, в марте, когда воздух был еще недостаточно прогрет. Холодные воздушные потоки из этих северных регионов послужили тем самым маршрутом, которым дым от горения сельскохозяйственных угодий добрался до нижней тропосферы арктической части Аляски (Warneke et al. 2009).

Совсем иные, но при этом аналогичные обстоятельства сложились в 2006 г. Весной этого года в европейской части Арктики держалась не по сезону высокая температура воздуха. При этом в странах Прибалтики таяние снега наступило непривычно поздно, из-за чего фермерским хозяйствам пришлось ждать до конца апреля – начала мая, прежде чем они смогли начать предпосевные подготовительные работы. Когда началось сжигание стерни, разница между температурными значениями в регионе-источнике загрязнений и регионе-«получателе» загрязнений оказалась достаточно малой, чтобы облегчить прохождение наполненных сажей дымовых столбов в Арктику (Stohl et al. 2007). Как указывает Столь, учитывая, что температура в Арктике повышается гораздо более интенсивными темпами, чем в более южных широтах, «подобные условия переноса могут наблюдаться в будущем с большей частотой».

В пределах описанных температурных ограничений некоторые регионы все же создают более благоприятные условия для перемещения краткосрочных загрязнителей в Арктику, нежели другие. Исследователи, работающие в составе Целевой рабочей группы по переносу загрязнения воздуха в Северном полушарии (Task Force on Hemispheric Transport of Air Pollution, HTAP)[2], разработали симуляционные модели для того, чтобы определить, как концентрации различных газов и аэрозольных частиц в атмосфере Арктики меняются в зависимости от выбросов, исходящих из отдельных регионов-загрязнителей в Северном полушарии – Европы, Восточной Азии, Южной Азии и Северной Америки (Shindell et al. 2008).

---

[2] Проект HTAP проводится в рамках «Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния» 1979 г. (Convention on Long-Range Trans-boundary Air Pollution), принятой на сегодняшний день 51 странами.

Несмотря на относительную неполность результатов – в модели не были включены данные по России – исследование показало, что источником самой большой доли загрязнений в Арктике (за исключением Гренландии) является Европа. Как обнаружили ученые, в каждый сезон года – зимой, весной, летом и осенью – уровни концентраций черного углерода, а также сульфатных аэрозолей и угарного газа, в поверхностных отложениях в Арктике «значительно более подвержены влиянию европейских выбросов, нежели выбросов из других регионов» (Shindell et al. 2008). Большая доля выбросов черного углерода поступает в Арктику также из Восточной Азии, чье воздействие на уровень тропосферного черного углерода в весенний период сравнимо с воздействием от европейских выбросов. В то же время, уровни загрязнения в Гренландии оказались в преимущественной зависимости от выбросов из Северной Америки. Как указывает Столь (Stohl 2006), горный рельеф острова способствует более легкому проникновению воздушных масс из относительно теплых и влажных регионов-загрязнителей в Северной Америке – и, в меньшей степени, в Восточной Азии, – в Гренландию, в отличие от остальных регионов Арктики (Shindell et al. 2008). Эта тенденция сохраняется во все сезоны года, кроме зимы.

На сегодняшний день данные моделирования по загрязнениям в Арктике только отчасти совпадают с результатами наблюдений. В частности, недостаток информации по выбросам из азиатской части России/Северной Азии не позволяет моделям спрогнозировать распространение загрязнений от масштабного горения биомассы, какое имело место в северной Аляске в апреле 2008 г. Тяжелые смоговые загрязнения Арктики в последние несколько лет заставили ученых задаться вопросом, не является ли практика сжигания сельскохозяйственных растительных отходов одним из источников остававшихся пока что малоизученными паттернов скопления загрязнений в арктической атмосфере. Получение точного ответа на этот вопрос требует комбинированного подхода, с рассмотрением результатов моделирования химического переноса, данных по выбросам, и оперативных наблюдений за эпизодами горения биомассы в глобальном масштабе.

Слежения за горениями во времени и пространстве

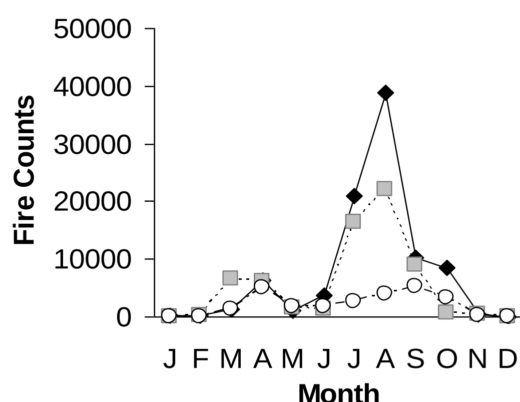
В последние годы большие успехи в области развития спутниковых технологий позволили ученым отслеживать малейшие изменения на поверхности Земли, которые могли бы свидетельствовать о проявлении эффектов меняющегося климата или указывать на имеющие место случаи загрязнения. Был разработан инструмент, известный как сканирующий спектрорадиометр среднего разрешения (MODIS), используемый исследователями для различных целей, в том числе – для дистанционного отслеживания больших пожаров в любой точке мира. С бортов двух спутников, проходящих по полярной орбите, система MODIS отправляет на Землю ежедневные снимки высокого качества, позволяющие проводить наблюдения за большими и менее масштабными пожарами. Подробный анализ этих снимков, в сочетании с использованием карт землепользования, дает в итоге достоверную картину распространения эпизодов горения биомассы по планете, включая и горение или сжигание биомассы в сельскохозяйственных целях (или в сельскохозяйственных районах).

Всестороннее исследование данных, полученных с помощью системы MODIS в период с 2001 г. по 2003 г., показывает, что на долю эпизодов с горением органических отходов сельского хозяйства приходится до 10% всех глобальных случаев горения биомассы. Подавляющая часть этих эпизодов имела место в Северном полушарии. За рассматриваемый трехлетний период большинство эпизодов было зарегистрировано в Восточной Европе и восточной части России, второй по распространению сельскохозяйственных пожаров регион – азиатские территории России и центральная и северо-восточная Азия. Северная Америка заняла третье место по частоте зафиксированных случаев сжигания биомассы в сельскохозяйственных целях (Korontzi et al. 2006). В Западной Европе число подобных эпизодов осталось относительно невелико – в западноевропейских странах с 1980-х гг. действует запрет на сжигание сельскохозяйственных органических остатков на открытом воздухе.

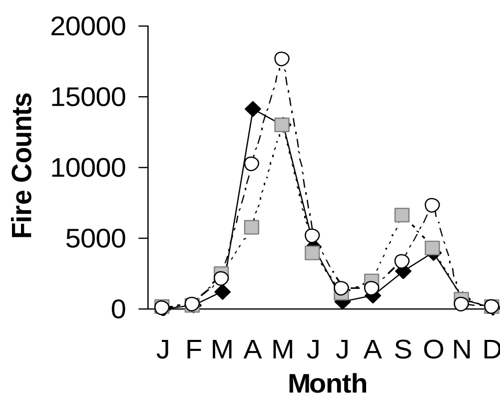
Пиковый период сжигания пожнивных остатков разнится от региона к региону. В Восточной Европе и европейской части России, к примеру, преимущественная часть сезонного сжигания стерни происходила в августе, после

уборки урожая озимой и яровой пшеницы. Кроме того, небольшой рост в распространении сельскохозяйственных костров отмечался также весной, при подготовке угодий к новому засеву. В азиатской части России, а также Казахстане и северо-восточном Китае, пик сезонного сжигания сельскохозяйственных отходов приходился на весну (март-апрель), с менее значительной динамикой роста в период позднего лета и ранней осени (август-октябрь). В Северной Америке максимальное число эпизодов с сжиганием пожнивных остатков поровну распределялось между весенними и осенними работами.

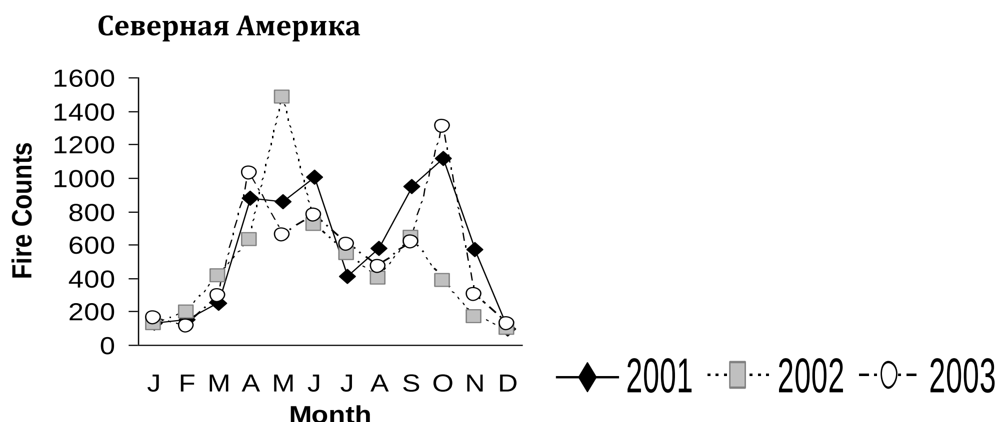
Восточная Европа и европейская часть России



Азиатская часть России, центральная и северо-восточная Азия



Северная Америка



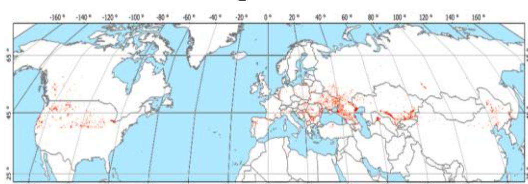
Источник: Korontzi et al. 2006.

Как видно из иллюстрации выше, в годовой динамике сезонного сжигания растительных отходов наблюдаются значительные колебания. В то время как в

Восточной Европе весь период 2003 г. продемонстрировал небольшое количество эпизодов сжигания сельскохозяйственных органических остатков, ввиду неблагоприятных погодных условий (Korontzi et al. 2006), в азиатской части России тот же год показал более интенсивную динамику в весенние месяцы. В Северной Америке в 2002 г. пик весеннего сжигания стерни из-за необычно позднего прихода снега состоялся с задержкой и при этом превысил показатели весны 2001 г. или 2003 г..

По контрасту с этими данными, данные по сжиганию пожнивных остатков в Восточной Европе весной 2006 г. характеризуются несколько иной динамикой вариативности в общем пространственно-временном паттерне распространения эпизодов горения сельскохозяйственных отходов. Дымовая завеса, которую исследователи наблюдали над Свальбардом в конце апреля – начале мая 2006 г., совпала с резким увеличением эпизодов сжигания стерни на западе России, Украине и Прибалтике поздней весной того года. Приведенные ниже карты, составленные Артуром Лембо, доцентом геологии и геофизических исследований при Университете Солсбери, США, на основе сведений по землепользованию и данных оперативных наблюдений за эпизодами горения системой MODIS, показывают, что масштабы сжигания стерни возрастали ежегодно в период с марта по май с 2004 г. по 2007 г. На этих иллюстрациях отражены только те эпизоды сжигания пожнивных остатков на территориях к северу от 40˚ северной широты, которые могут негативно отразиться на климате Арктики в ближайшей перспективе.

Март 2004



Март 2005



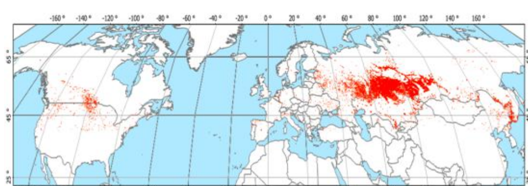
Апрель 2004



Апрель 2005



Май 2004



Май 2005



Март 2006



Март 2007



Апрель 2006



Апрель 2007



Май 2006

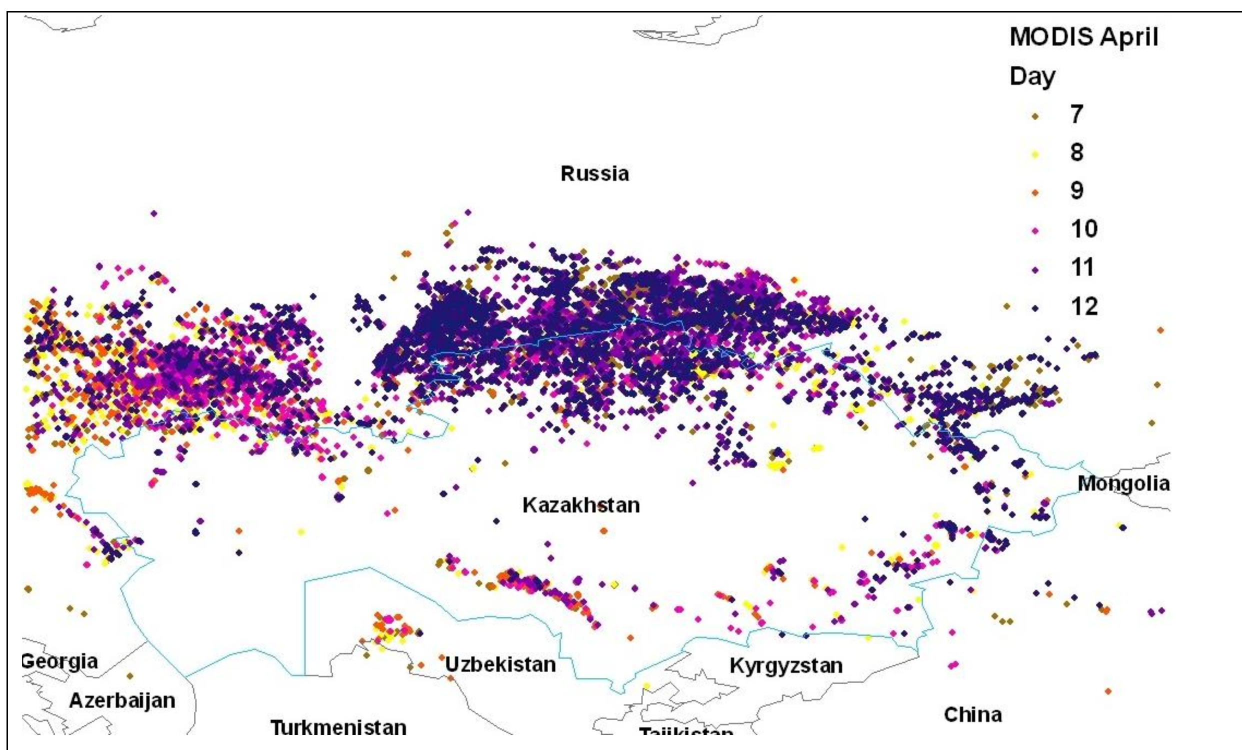


Май 2007



Интенсивность сезонного сжигания пожнивных остатков в целом возрастала на территориях от юга России до северо-востока Китая в периоды с ранней до поздней весны на протяжении всех четырех лет наблюдений, однако, особенно хорошо эта тенденция заметна на примере 2006 г.. В Восточной Европе апрель стал пиковым месяцем разжигания весенних сельскохозяйственных костров с 2004 по 2006 гг., тогда как в 2007 г. пик пришелся на март. В Северной Америке, в т. н. «зерновом поясе», простирающемся от провинций Альберта и Саскачеван в Канаде и до севера центральной равнинной части США (территория Великих Равнин, предгорного плато к востоку от Скалистых гор), в весенние сезоны периода 2004-2007 гг. также имело место значительное, хотя и не столь масштабное горение сельскохозяйственных отходов, при этом большая часть эпизодов сжигания биомассы происходила в апреле и мае.

В последнее время пристальное внимание исследователей привлекли масштабы сжигания послеуборочных органических остатков в Казахстане, дымовые загрязнения от которого послужили причиной формирования тяжелого смога над арктической частью Аляски в апреле 2008 г. Данные наблюдений MODIS дают основания полагать, что 2008 г. побил все рекорды по сжиганию биомассы на пограничных территориях России и Казахстана. Иллюстрация, приведенная ниже, демонстрирует ежедневную динамику горения пожнивных остатков в этом регионе в период с 7 по 12 апреля 2008 г. С учетом семи-девяти дней, необходимых на то, чтобы воздушные потоки перенесли загрязнения в атмосферу Арктики, география распространения сельскохозяйственных костров как раз совпадает с появлением тех клубов дыма, которые исследователи наблюдали над Аляской в течение третьей недели апреля 2008 г.



Материал предоставлен Эмбер Сойя (Amber Soja), проект ARCTAS.

Согласно данным MODIS по Казахстану, на апрель 2008 г. пришлось 42% от всего числа эпизодов сжигания сельскохозяйственных отходов, зарегистрированных в этом регионе за период предыдущих шести лет. При этом более 60% всех эпизодов, наблюдаемых в апреле 2008 г., отмечались в течение двух четырехдневных периодов (10-13 апреля и 19-22 апреля).

Количественное определение выбросов от горения биомассы

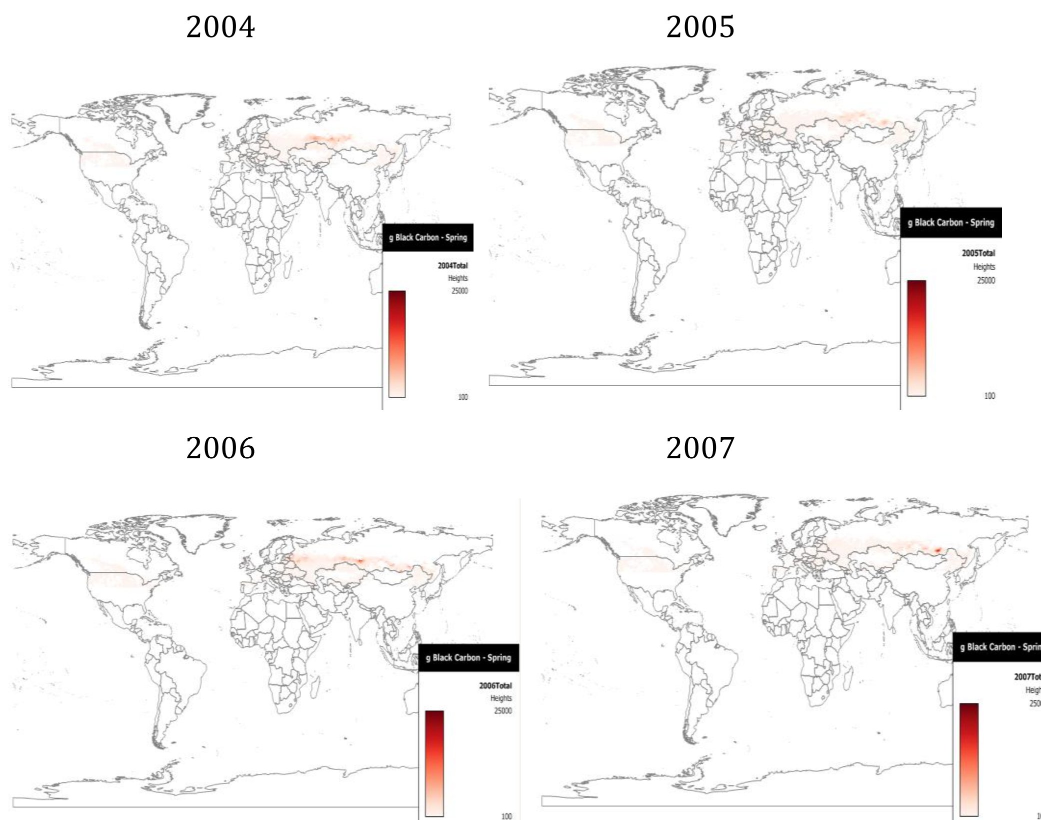
Учитывая регулярность, с которой весеннее сжигание пожнивных остатков в отдельные годы приобретает особую интенсивность, эта практика представляет собой явную угрозу арктическому климату. На сегодняшний день для количественной оценки выбросов от сжигания биомассы, включая выбросы черного углерода, ученые используют имеющиеся данные по выбросам от глобальных пожаров. Глобальная база данных по выбросам от горения биомассы

(Global Fire Emissions Database, GFED) (Randerson et al. 2007)[3] содержит месячную статистику по количеству воспламеняемого материала на единице площади (высчитываемую авторами исходя из количества углерода, участвующего в горении), степени выгорания и уровням выбросов загрязнителей – газов и аэрозолей – на территориях горения, задокументированных спутниковыми наблюдениями (точность разрешения – 1x1˚). Доля сгоревшей биомассы, выброшенной в атмосферу в виде загрязнений черным углеродом, в каждом конкретном эпизоде горения зависит как от эффективности сгорания (связанной со степенью влажности пожнивных остатков и температурой горения) и от типа стерни (т. е., пшеницы, ячменя, льна, кукурузы, сои и т. д.).

Консультанты Рабочей группы по чистому воздуху Мадура Кулькарни и Артур Лембо сопоставили данные по глобальным выбросам от горения биомассы с картами с зарегистрированными эпизодами сжигания сельскохозяйственных отходов на территориях к северу от 40˚ северной широты. Поскольку уровень точности GFED пока не достаточно высок для анализа сельскохозяйственных площадей, а степень пространственного разрешения остается небольшой (1x1˚), приведенные ниже карты представляют собой только предварительные приблизительные оценки динамики загрязнения черным углеродом в периоды весны 2004-2007 гг..

---

[3] Самая последняя версия этой базы данных – GFED Версия 2.1 (GFED Version 2.1) –выпущена Джеймсом Т. Рандерсоном (Randerson, J. T. et al.) в 2007 г.. Ожидается, что в новой версии (GFED V. 4), находящейся на данный момент в разработке, исследователям удастся собрать более точные данные и свести диапазон погрешностей к минимуму.



При том, что количественные оценки выбросов черного углерода в масштабах конкретного региона остаются на сегодняшний день неполными, предварительные результаты анализа позволяют выделить очевидных «лидеров» в загрязнении атмосферы выбросами черного углерода. На первом месте по выбросам черного углерода от весеннего сжигания пожнивных остатков за 2004-2007 гг. оказалась Россия – 78-84%. Большую лепту в глобальные выбросы черного углерода также вносят Казахстан, Китай, Канада и Соединенные Штаты.[4]

---

[4] Согласно вычислениям, произведенным Кулькарни и Лембо исходя из данных по выбросам черного углерода базы данных GFED, а также карт землепользования системы MODIS, показатели по выбросам восточно-европейских стран оказались ниже, чем ожидалось. Несмотря на то, что по глобальным данным по черному углероду, предоставленным Збигневом Климонтом (Zbigniew Klimont), самое большое количество стерни, выжигаемой ежегодно, пришлось на Украину, по последним оценкам по выбросам черного углерода, Украина следует за США и Канадой. Различие в результатах может быть вызвано погрешностями в измерениях либо другими факторами, такими как условия горения биомассы и тип пожнивных остатков. Кроме того, как подчеркивает Стефания Коронци, сжигание пожнивных остатков на Украине, как правило, имеет место в летние месяцы. Данные, предоставленные Климонтом, были скомпилированы Международным институтом прикладного системного анализа (International Institute for Applied Systems Analysis) на основе как находящихся в открытом доступе, так и неопубликованных массивов данных, используемых для

Страна	Среднее количество черного углерода в весенних выбросах, в гигаграммах (Гг), 2004-2007 гг.	Осредненная доля в глобальных весенних выбросах черного углерода, в процентах (%),2004-2007 гг.
Все страны	47,7 Гг.	
Россия	38,9 Гг.	81,4%
Казахстан	2,63 Гг.	5,5%
Китай	1,41 Гг.	2,9%
США	0,60 Гг.	1,3%
Канада	0,56 Гг.	1.2%
Украина	0,35 Гг.	0,7%

Выбросы от сжигания пожнивных остатков в различных странах – данные по территориям к северу от 40° северной широты за март, апрель и май 2004-2007 гг.. Источник: Мадура Кулькарни (Madhura Kulkarni) и Артур Лембо (Arthur Lembo), CATF, апрель 2009 г..

Во всех перечисленных странах практика сжигания пожнивных остатков применяется по-разному, а для властей характерны совершенно различные подходы к регулированию и надзору, осуществляемым в этой области. В тех регионах, где весеннее сжигание стерни распространено особенно широко, определенные трудности возникают с доступом к открытой и достоверной информации по проблеме, вызванные, в частности, расхождениями в употребляемой терминологии и равнодушием со стороны чиновников. Ниже рассматриваются некоторые из обстоятельств, способствующих практике сжигания пожнивных остатков в основных регионах-источниках выбросов черного углерода, а также вопросы, требующие дополнительного изучения в этой области.

работы с моделью расчета возможностей сокращения парниковых газов в различных регионах, GAINS (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies).

Изменения в практике землепользования и меры по борьбе с пожарами на территории современной России и Казахстана

Распад Советского Союза в 1991 г. привел к крушению основанной на плановом хозяйстве командной социалистической экономики, принципам которой десятилетиями подчинялся, в том числе, и сельскохозяйственный сектор страны. Лишившись субсидий со стороны государства, колхозы, на которых держалось советское индустриальное общество, оказались предоставлены сами себе. Уходила рабочая сила, вновь зарастали необрабатываемые поля. В наследство пришедшим на смену колхозам небольшим частным фермерским хозяйствам достался новый, непривычный ландшафт: возделываемые угодья перемежались с дикими лугами, поросшими бурьяном и сухим кустарником. Развал советского сельского хозяйства подготовил «идеальную» почву для возникновения неуправляемых пожаров (Dubinin et al. 2009). В этот же переходный период, из-за сокращения государственного финансирования и невнимания властей, постепенно приходила в упадок централизованная система мер по пожаротушению. «При советской власти считалось, что любые пожары причиняют вред», – объясняет Йоханн Гольдаммер (Johann Goldammer), старший научный сотрудник Института химии Макса Планка (Max Planck Institute for Chemistry) и директор Центра глобального пожарного мониторинга (Global Fire Monitoring Network). – «[Правительство] выделяло на борьбу с пожарами 8 тысяч самолетов». Однако к 2003 г. на Россию приходилось уже около 36% всех мировых сжиганий в сельскохозяйственных целях (Korontzi et al. 2006), а сегодня Российская Федерация является самым большим в мире регионом, территории которого – как в районах с лесными массивами, так и без – подвергаются масштабным неуправляемым пожарам, вызванным стихийными причинами либо человеческой деятельностью (Goldammer 2006).

Выявление причин больших пожаров в России – задача, представляющая собой особую трудность. По «Правилам пожарной безопасности в Российской Федерации» (ППБ 01-03, утверждены приказом Министерства чрезвычайных

ситуаций № 313 от 18 июня 2003 г.), в России вне зависимости от времени года действует официальный запрет на любое сжигание биомассы в сельскохозяйственных целях.[5] Это внутриведомственный нормативный акт, неподкрепленный в основных федеральных законах, не имеет штрафных санкций и соответствующего наказания за нарушения. И опыт показывает, что на местах эти правила практически не выполняются. По свидетельству Гольдаммера, который уже несколько лет занимается исследованием пожаров и практики пожаротушения и борьбы с огнем, в том числе, в государствах бывшего Советского Союза, в этой области «много белых пятен». «То, что началось как небольшой костер для расчистки пастбища или для того, чтобы подготовить почву к весенним посадкам, может легко охватить весь степной район и перекинуться на соседний лес», – говорит Гольдаммер. Как подчеркивает исследователь, все больше пожаров случаются по небрежности во время отдыха на природе: «Люди едут за город, разводят костер для шашлыков, выпивают, наверное… и уезжают, не особенно заботясь о последствиях».[6]

Примерно такие же обстоятельства привели к росту природных пожаров в Казахстане, бывшей советской республике, граничащей с юго-центральной частью России. За последнее десятилетие, в связи с недостатком финансирования, выделяемого правительством службе авиационной разведки лесных пожаров, сократились возможности казахских властей по обнаружению и мониторингу подобных бедствий, из-за чего увеличивается число никем не контролируемых тяжелых ландшафтных пожаров. «Сельское население, работающее на полевых угодьях, расположенных рядом с лесами, часто сжигает растительность, и огонь от

---

5 В ППБ 01-03 прописано следующее (§327 главы X. Объекты сельскохозяйственного производства): «Не разрешается сжигание стерни, пожнивных остатков и разведение костров на полях».

6 В качестве примера Гольдаммер рассказал о волне пожаров, прокатившихся по Сибири в 2008 г. во время празднования 8 марта, когда «пожары вспыхивали то тут, то там, как огни на елке»: «После готовки и уборки женщины собираются за город, отметить. Там они разводят костры, выпивают. Про костер уже никто не помнит… Они же живут в городах, на природу выбираются только на выходных, на пикник. Связь с природой давно у них потеряна».

таких костров случайно перекидывается на соседние леса» (Kushlin et al. 2004, по цитате в Goldammer 2006).

Примерно 20% территории Казахстана занято степями – безлесными, полузасушливыми равнинами, покрытыми сухой травой, огонь в которых распространяется особенно легко. Согласно исследователям Института леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения РАН, сельскохозяйственная деятельность является основной причиной возникновения степных пожаров в Казахстане, причем возгорание случается не только от костров, разведенных для сжигания пожнивных остатков, но и от искр, летящих от тракторов, уборочных комбайнов и автомобилей.

> Сезон масштабных природных пожаров, охватывающих, в основном, почти не покрытые лесами равнинные территории, начинается в Казахстане уже в середине марта. Огонь очень быстро распространяется по сухому травостою. Эти пожары представляют собой самую большую опасность для пока что не уничтоженных природных равнинных лесов и полезащитных лесонасаждений. Степные пожары – это масштабные пожары, вызванные сжиганием растительности в сельскохозяйственных целях (из личной переписки с сотрудниками Института леса им. В. Н. Сукачева, 2009 г.).

Весной 2008 г. служба авиационной охраны лесов Казахстана зарегистрировала 212 степных пожаров на севере страны, охвативших, в общей сложности, 47 тыс. гектаров. Именно эти пожары, судя по всему, послужили источником дымовых столбов, которые ученые наблюдали в атмосфере над арктической частью Аляски в апреле того года (из личной переписки с сотрудниками Института леса им. В. Н. Сукачева, 2009 г.).

Предварительная картина, складывающаяся по вызванным человеческой деятельностью эпизодам горения растительности в России и Казахстане, позволяет говорить о неадекватности большей части терминологии, употребляемой в этих регионах для классификации пожаров. Несмотря на то, что многие пожары возникают в результате разведения костров для конкретных целей, из-за «случайных» последствий, к которым такие костры приводят, часто размывается граница, отделяющая природные пожары от практики уничтожения огневым методом сельскохозяйственных органических остатков, не делается

различий между сжиганием пожнивных остатков и горением растительности на лугопастбищных угодьях, и даже между степями и лесами. Устранение негативных последствий горения биомассы для атмосферы Арктики требует более тщательного понимания того, как именно человеческая деятельность влияет на окружающую человека местность – не только в контексте сельскохозяйственного производства, но и в таких случаях, когда речь идет о не защищенных должными мерами пожарной безопасности территориях на окраинах городов или поселков, представляющих собой повышенный риск возникновения пожаров. Для успешной работы с такими рисками местным властям необходима поддержка международных организаций, с тем чтобы привлечь к проблеме внимание общественности и усовершенствовать меры по предотвращению огня и пожаротушению на опасных участках.

Сжигание пожнивных остатков и экономическое развитие Китая

Китай является одним из основных источников выбросов от горения биомассы в Северном полушарии. На территории Китая преобладающее число всех зарегистрированных эпизодов горения растительности приходится на сжигание биомассы в сельскохозяйственных целях. Из всех эпизодов горения биомассы в период с 2001 по 2003 гг. 20-30% были лесными пожарами, в 13-16% горели территории саванн, но 30-40% имели место на пахотных землях (Korontzi et al. 2006). Китайские земледельцы регулярно используют огневой метод для расчистки участков в культивировании зерновых, особенно в восточной части страны. На северо-востоке – территориях, лежащих к северу от 40° северной широты, – в апреле сажают рис, кукурузу, соевые бобы и пшеницу, а урожай собирают в период между августом и октябрем. Поздней зимой и ранней весной начинается сжигание стерни и соломы, для того чтобы подготовить почву к новому засеву.

В течение последних нескольких десятилетий сельское хозяйство Китая переживает подъем, что сопровождается распространением практики сжигания пожнивных остатков. До 1970-х гг. многие крестьянские хозяйства использовали пожнивные остатки в качестве топлива для домашних нужд или как источник корма для скота. Однако с повышением урожайности в 1980-х гг. количество соломы, остающейся на полях после уборки урожая, стало превышать потребности по ее использованию. Стремясь как можно более быстро и с наименьшими расходами очистить поля для посевных работ, китайские земледельцы стали сжигать ненужную стерню, не тратясь на ее вывоз и хранение (Cao et al. 2008).

На основе данных, собранных за 2000-2003 гг., исследователи из китайской Академии метеорологических наук в Пекине определили три основных сельскохозяйственных региона страны, где происходит масштабное сжигание пожнивных остатков: 1. Территории, занятые под массовое производство зерна при малом количестве населения – такие как провинции Цзилинь и Хэйлунцзян на северо-востоке, где образовываются значительные количества неиспользуемой соломы; 2. Более экономически и промышленно развитые области, такие как провинции Чжэцзян и Цзянсу, а также Шанхай, на восточном побережье Китая, где коммерческие поставки энергии заменили сельскохозяйственные отходы в качестве источника топлива; и 3. Энерговырабатывающие районы в центрально-восточной части страны, например, провинциях Шаньси и Шэньси, где у населения, занятого в сельском хозяйстве, есть доступ к дешевым источникам энергии и где из-за этого остается большое количество ненужных пожнивных остатков (Cao et al. 2008). Анализируя данные по этим регионам, исследователи пришли к выводу об очевидной пропорциональной связи между доходами сельского населения и количеством выжигаемых пожнивных остатков. В будущем, с учетом этого фактора, тенденция уничтожать неиспользуемую стерню огнем будет, видимо, только расти, если государство не примет эффективных законодательных мер по ограничению подобной практики.

Хотя официально правительство Китая запрещает выжигание пожнивных остатков на открытом пространстве (и даже применяет спутниковые технологии

для слежения за попытками сжигания биомассы в сельских районах), среди населения этот запрет выполняется слабо. Как говорит Шу Тао, профессор экологических наук в Пекинском университете, чтобы избежать ответственности за нарушение закона, фермеры часто поджигают стерню на полях в ночное время. Из-за плотного дыма, тянущегося от сельскохозяйственных костров, местным властям периодически приходится закрывать движение на дорогах. По подсчетам коэффициентов загрязнения окружающей среды от сжигания рисовой и пшеничной соломы, а также других пожнивных остатков, в масштабе всей страны на практику сжигания сельскохозяйственных растительных отходов приходится 11% всех выбросов черного углерода, исходящих из Китая (Cao et al. 2008). Две провинции из числа самых больших загрязнителей – Хэйлунцзян и Цзилинь – находятся как раз в самой северной части страны, выше 40˚ северной широты, что увеличивает вероятность того, что весенние выбросы черного углерода из этого региона доберутся до атмосферы Арктики и негативно скажутся на ее климате.

Вышеупомянутое исследование (Cao et al. 2008) является на сегодняшний день единственной работой, где сделана попытка рассмотрения вопроса загрязнения воздуха от практики сжигания сельскохозяйственных отходов в Китае. Но оно служит обнадеживающим признаком того, что среди китайских специалистов растет интерес к проблеме. Дальнейшее изучение частоты и временных характеристик практики сжигания пожнивных остатков в северо-восточных районах Китая – вкупе с данными по химическому переносу – даст ученым лучшее понимание потенциального климатического воздействия этого явления. И разумеется, какой бы то ни было эффективный план по сокращению выбросов от сжигания органических остатков сельскохозяйственных работ в Китае должен будет включать в себя альтернативное и экономически привлекательное решение проблемы избыточного количества растительных отходов.

Сжигание сельскохозяйственных отходов в Северной Америке – трудности количественной оценки выбросов

В Соединенных Штатах и Канаде власти сосредоточили свои усилия по обеспечению пожарной безопасности, в первую очередь, на борьбе со стихийными пожарами. С конца 1980-х гг. статистика ландшафтных пожаров в Северной Америке ухудшилась – и по частоте, и по интенсивности. Ежегодно на пожароохранные меры американское правительство тратит более 1 млрд. долларов, причем большая часть этих денег уходит на тушение масштабных пожаров на юго-западе США (USDA[7], 2006). Гораздо меньше внимания уделяется в стране проблеме других источников горения биомассы – таких как сжигание сельскохозяйственных растительных отходов – или потенциальному воздействию, которое выбросы от горения биомассы оказывают на климат.

Согласно исследованию Стефании Коронци (Korontzi et al. 2006), на основной территории США (все штаты к югу от Канады, исключая Аляску, Гавайи, а также оффшорные территории) 30% выжигаемой местности приходится на пахотные угодья. Горение растительности на площадях, занятых под сельскохозяйственные работы, происходит, в основном, в юго-восточных штатах – Алабаме, Джорджии и Флориде – где промышленное лесоводство является одной из основных статей доходов. Однако сезонное сжигание пожнивных остатков практикуется и на севере центральной равнинной части США – в Южной и Северной Дакоте, на северо-западе Миннесоты, в Айове и Небраске – а также в отдельных районах Монтаны. Эти территории входят в т. н. «зерновой» (или «пшеничный») пояс Северной Америки, захватывающий на севере канадские провинции Саскачеван и Альберта (Korontzi et al. 2006). Поскольку преимущественная часть этих территорий расположена выше 40˚ северной широты, следует иметь в виду возникающий из этого потенциальный риск негативного воздействия на уровни загрязнения в Арктике – особенно,

---

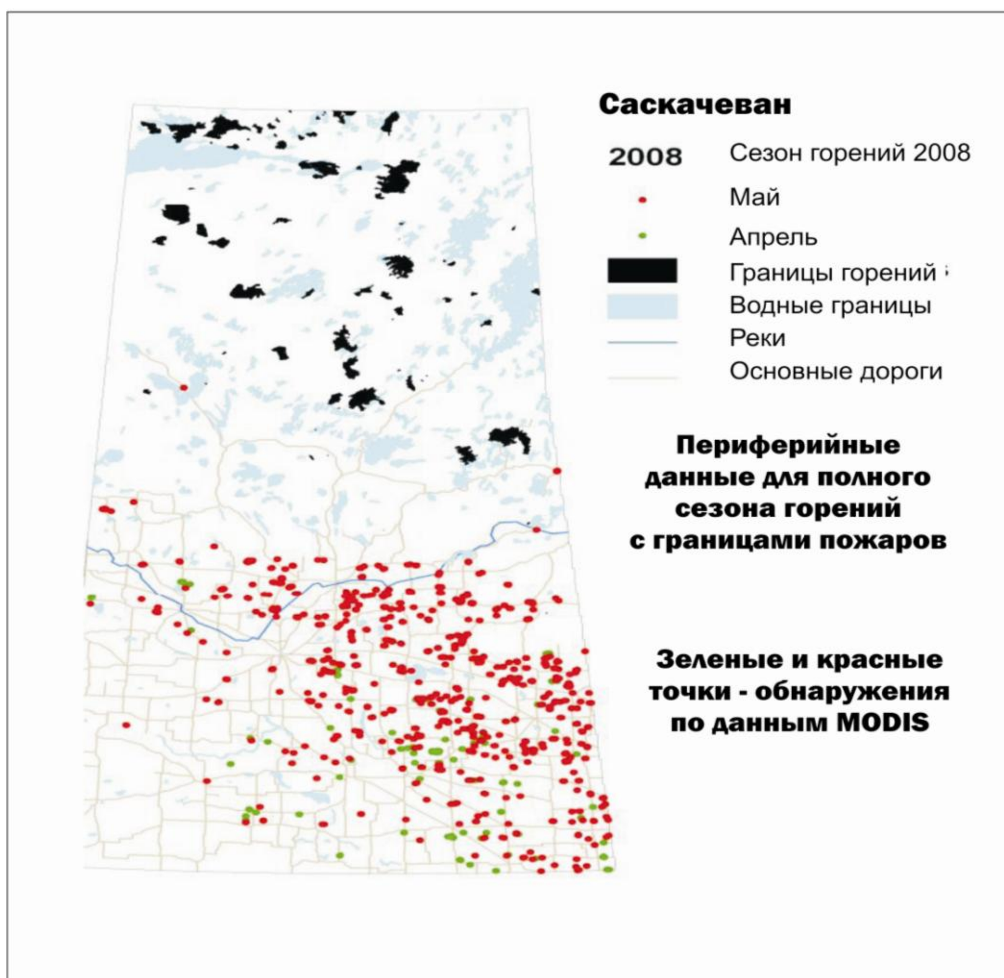
[7] USDA (United States Department of Agriculture) – Министерство сельского хозяйства США.

воздействия, оказываемого отложениями черного углерода на снежных и ледовых поверхностях Гренландии.

Нормативные требования, предъявляемые к сжиганию послеуборочных органических остатков в Северной Америке, зависят от штата (или провинции, в случае Канады). В США во многих штатах на сжигание пожнивных остатков на открытых пространствах необходимо получить специальное разрешение, а в особенно засушливые периоды власти могут наложить временный запрет на любое сжигание растительных отходов. В штате Айдахо для получения разрешения на сжигание стерни фермеры должны обосновать заявку, доказав, что уничтожению пожнивных остатков огневым методом «приемлемой альтернативы не имеется» (Законопроект Палаты представителей штата Айдахо №391, раздел 22-4803, 2003 г. подписан в порядке утверждения в качестве закона губернатором штата Дирком Кемпторном в апреле 2003г.). В Южной Дакоте, напротив, для сжигания стерни не требуется никакого процесса получения разрешения. Сжигание растительных отходов в хозяйственных целях периодически наносит ущерб окружающей собственности, как это демонстрирует, например, такой эпизод, имевший место в окрестностях столицы штата Монтана, Хелены, и описанный в ленте новостей Associated Press в 2005 г.:

> …Сезон весеннего сжигания отходов – время, когда люди сжигают сухой мусор или поджигают остатки растительности на полях, чтобы расчистить их. Различные ведомства, занятые в сфере управления государственными и общественными землями, сжигают отходы для целей землепользования. По словам Джоэла Клэрмонта, заместителя директора Департамента по сельскому хозяйству штата Монтана, фермеры сжигают стерню – стебли, оставшиеся от уборки урожая зерновых или, в случае если продукт производства – семена кормовых культур, для расчистки полей и стимулирования роста сеяной травы. Как сказал Уильямс, пожар, охвативший участки вокруг Хайвуда в четверг, начался с сжигания стерни на одном из занятых под выращивание зерновых полей. В Биттеррутской равнине всего во вторник было, по меньшей мере, четыре пожара, каждый площадью в один акр или меньше. В ходе одного из них, возникшего из костра, который устроил местный житель для расчистки канавы, и ветром разнесенного по окрестностям, обуглились две заброшенные машины, а также автомобиль самого виновника происшествия. (Associated Press, 3 марта 2005 г., по тексту, размещенному на сайте Firehouse.com).

В Саскачеване, провинции, где сосредоточены 40% всех земледельческих угодий Канады, нет никаких специальных требований к получению разрешений на сжигание послеуборочных отходов. Власти провинции полагаются на благоразумие фермеров и их способность принимать правильные решения в те периоды, когда условия не благоприятствуют сжиганию стерни. В последние годы обеспокоенность населения по поводу качества воздуха в городах побудила фермеров к тому, чтобы принимать в расчет ветровую обстановку прежде чем начинать сжигание растительных отходов и вообще прибегать к огневому методу «только по необходимости». Есть основания полагать, что в последнее время частота эпизодов горения биомассы на сельскохозяйственных угодьях снизилась благодаря тому, что земледельцы Саскачевана стали применять более эффективные агрегаты для размельчения и разбрасывания послеуборочной растительной массы (Уэйн Госслин (Wayne Gosslin), Министерство сельского хозяйства Саскачевана, из личной переписки). Опрос 400 саскачеванских фермеров показал, что чаще всего метод огневой расчистки применяется к соломе, остающейся после уборки урожая льна – это один из видов пожнивных остатков, труднее всего поддающихся уничтожению (65% производителей льна сказали, что прибегают к методу сжигания стерни, по сравнению с 8% производителей злаков и 13% фермеров, занимающихся выращиванием канолы). Большинство фермеров сказали, что сжигание пожнивных остатков проводят осенью (65%), и только 22% выжигают стерню весной (по данным опроса, проведенного Саскачеванским Министерством сельского хозяйства в марте 2008 г.). Тем не менее, результаты наблюдений с помощью системы MODIS показывают, что в период между январем и июнем 2008 г. на пахотных и пастбищных угодьях на юге провинции имело место весьма значительное число эпизодов горения биомассы.



Источник: Эмбер Сойя (Amber Soja) для Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA), 2008 г..

На сегодняшний день недостаток точных данных по учету эпизодов горения биомассы не дает возможности достоверно оценить значимость практики сжигания пожнивных остатков в Северной Америке для уровней загрязнения черным углеродом атмосферы Арктики. Данные федеральной статистики по горению биомассы в США не отличаются точностью географического распределения, агрегированы, как правило, на уровне отдельных графств, и кроме того, иногда не берут в расчет эпизоды горения, имеющие место не на государственных или общественных землях (Brown et al. 2002, Schmidt et al. 2002, по цитате в Hawbaker 2009, неопубликованное исследование). Как указывает Сойя (Soja et al. 2009), правительство США не располагает стандартной базой данных по

пожарам либо площадям горения за какой-либо один конкретный год.[8] Сходным образом, канадские ведомства, отвечающие за пожарную безопасность, не ведут учета по эпизодам горения, за исключением масштабных лесных пожаров. В обеих странах исследователи сейчас работают над тем, чтобы спутниковые технологии были включены в методологию сбора данных по обнаружению менее значительных эпизодов горения на сельскохозяйственных площадях и других землях нефедерального значения. Это – первый серьезный шаг к достоверной оценке ежегодных выбросов от горения биомассы в национальном масштабе Канады и США (Hawbaker, из личной переписки, 2009 г.; Soja et al. 2009).

Заключение: Перспективы решения проблемы весенних выбросов черного углерода

Сами по себе отдельные случаи сжигания сельскохозяйственных растительных отходов оставляют относительно небольшой след – особенно если сравнить их воздействие с воздействием на уровни атмосферного загрязнения масштабных пожаров в бореальных лесах или выбросов от использования ископаемого топлива. Но если рассматривать их совокупно, как сезонный феномен горения целых площадей сельскохозяйственных угодий, антропогенные пожары представляют собой источник значительной доли загрязнителей, оказывающих губительное воздействие на полярный климат. В регионах, где исторические изменения в области землепользования вызвали обширное запустение и зарастание полей, ранее применявшихся для целей сельского хозяйства, сжигание растительных отходов часто превращается в неуправляемые пожары,

---

[8] К примеру, чтобы получить оценку выбросов от лесных и стихийных пожаров для статистики выбросов по 1999 г., Агентство по защите окружающей среды США (Environmental Protection Agency, EPA) использовало данные по пожарам за 1985-1998 г., предоставленные Министерством внутренних дел и Лесохозяйственной службой США для штатов, не входящих в регион Большого Каньона (Большой Каньон находится в штате Аризона). После подсчетов полученные оценки, включающие данные, агрегированные на уровне штата, распределялись по графствам при помощи данных за предыдущий год или несколько лет. В итоге, при сравнении предполагаемых источников выбросов и территорий, где действительно происходило горение биомассы, нередко возникали значительные погрешности и расхождения. Недавно, преимущественно под влиянием этой работы, при составлении Инвентарного учета национальных выбросов Агентство по защите окружающей среды решило включать данные спутниковых наблюдений (Soja et al. 2009).

захватывающие соседние луга и угрожающие целостности близлежащих лесов. Весной, при соответствующих погодных условиях, горящая растительная масса выпускает в атмосферу клубы наполненного сажей дыма, который, попадая в Арктику, вызывает ускоренное таяние снега и тем самым запускает своеобразный эффект «домино», ведущий к дальнейшему потеплению. Помимо этого, выбросы от сельскохозяйственных костров могут увеличить содержание в атмосфере Арктики еще одного загрязнителя краткосрочного действия – тропосферного озона (эта тема не рассматривается в рамках данной работы).

Для того, чтобы попытаться хотя бы замедлить процесс изменения климата в Арктике, необходимо вплотную заняться проблемой переноса в ее атмосферу концентраций черного углерода. Очевидно, что эта цель требует уменьшения последствий от сжигания послеуборочных растительных остатков. По меньшей мере, как говорит Чарльз Зендер (Charles Zender), профессор геофизических наук Калифорнийского университета (отделение в Эрвайне, Калифорния), «помочь вернуть чистоту и белизну Арктике можно было бы хотя бы переносом сжигания сельскохозяйственных отходов с весны на другое время года». Впрочем, введение повсеместных ограничений на сжигание растительной массы, наверняка, окажется нелегкой задачей, учитывая, насколько сильно варьируются обстоятельства и условия, при которых происходит сезонное сжигание растительных отходов в различных регионах мира. Согласованные целенаправленные действия по сокращению выбросов от горения биомассы должны основываться на конкретных решениях на местах, в которых принимались бы в расчет особенности данного региона – экологические условия, причины, побуждающие фермерские хозяйства прибегать к огневому методу, а также административные препятствия, способствующие распространению как случайных пожаров, так и специально разводимых сельскохозяйственных костров.

В России и других республиках бывшего Советского Союза проблема пожаров на площадях сельскохозяйственного значения неотделима от еще более тяжелой проблемы общего неблагополучия в системе мер пожаротушения и

пожарной безопасности. Огромные территории бывшего СССР, раскинувшиеся от Восточной Европы до западных границ Сибири, являются источником подавляющей части выходящих в атмосферу Северного полушария выбросов от сжигания пожнивных остатков, однако в странах этого региона практически не ведется никакого учета по эпизодам сжигания сельскохозяйственных отходов. Достоверность картины, которую дают со спутников наблюдения с помощью системы MODIS, невозможно проверить на местах. Во многих случаях приходится предположить, что у властей нет ни средств, ни желания заниматься устранением причин, способствующих практике сжигания стерни в сельских районах. В последнее время некоторые шаги по усовершенствованию комплекса пожароохранных мер в России, Казахстане и многих других странах Восточной и Юго-Восточной Европы предпринимаются Центром глобального пожарного мониторинга – проектом, осуществляемым Йоханном Гольдаммером в рамках Международной стратегии ООН по уменьшению опасности бедствий (United Nations' International Strategy for Disaster Reduction, UN-ISDR). Центр глобального пожарного мониторинга работает над продвижением трансграничных соглашений по мерам предотвращения стихийных пожаров и способствует повышению осведомленности населения о «корректном применении огневого метода для целей землепользования» и об эффективных способах предупреждения и тушения природных пожаров (см. http://www.fire.uni-freiburg.de/Manag/CBiM.htm). Понимание опасности бездумной практики сжигания растительных отходов для окружающей среды, здоровья людей и климата в целом поможет сделать правильные шаги к введению более действенных мер нормативного регулирования в этой области – а при идеальном исходе и к внедрению полного запрета на весеннее сжигание пожнивных остатков. Поддержка образовательных и дипломатических усилий, предпринимаемых сотрудниками Центра глобального пожарного мониторинга, должна стать одним из приоритетов дальнейшей работы Рамочной конвенции ООН по изменению климата (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC).

В Китае запрет на сжигание сельскохозяйственных растительных отходов оказался несостоятельным на фоне экономической привлекательности метода огневого уничтожения стерни для фермерских хозяйств. Для того чтобы сократить весенние выбросы черного углерода из этого региона, необходимо найти другие решения, способные предложить эффективную альтернативу сложившейся практике. Например, одно из преимуществ традиционного метода пропахивания почвы заключается в том, что при плужной обработке в землю возвращается азот и другие питающие почву элементы. Однако этим методом невозможно избавиться от вредителей. Кроме того, с точки зрения противодействия глобальному изменению климата, вспахивание земель невыгодно тем, что дает дополнительные выбросы в атмосферу больших количеств углекислого газа. Современное оборудование для размельчения и разбрасывания соломы может оказаться слишком дорогим вариантом для большинства китайских земледельцев. Решению этой проблемы могут помочь предпринимаемые сейчас в некоторых районах Китая усилия по развитию биоэнергетики. Недавно на северо-востоке страны в продаже появились установки по газификации соломы для обогрева домов (см. http://gasifiers.bioenergylists.org). Если эти и подобные устройства станут достаточно популярными среди покупателей и продемонстрируют свою эффективность в утилизации стерни при меньшем количестве выбросов, их использование создаст нужные условия для обеспечения спроса на излишки пожнивных остатков и избавит фермеров от необходимости прибегать к сжиганию пожнивных остатков на полях.

В случае Северной Америки и ее доли выбросов черного углерода в периоды сжигания органических остатков, решение проблемы потребует более тщательного учета эпизодов горения или сжигания биомассы в Канаде и на севере территории Великих Равнин в США. Предварительные оценки позволяют говорить о том, что канадские и американские фермеры предпочитают проводить сезонное сжигание стерни осенью, однако, данные спутниковых наблюдений показывают, что подобная практика применяется также и весной. Уже сегодня во

многих штатах и провинциях к методу огневого уничтожения сельскохозяйственных растительных отходов начинают относиться как к исключительной мере, ввиду того негативного воздействия, которое сельскохозяйственные костры оказывают на качество воздуха и уровень видимости на дорогах. Активное распространение информации о потенциальной связи между практикой сжигания пожнивных остатков и ускоренным наступлением весеннего таяния в Арктике может стать еще одним сильным аргументом, убеждающим в необходимости найти альтернативные методы расчистки стерни.

Одним из наиболее многообещающих подходов к проблеме сжигания послеуборочных органических остатков, в глобальном масштабе, может стать развитие новых технологий, направленных на улавливание углерода, обычно выбрасываемого в атмосферу в ходе горения биомассы, и затем захоронения обугленной биомассы – по сути, биологического угля – на сельскохозяйственных угодьях, что также благоприятно отразится на плодородии почв. Производство биоугля позволит в потенциале использовать энергию, заложенную в органических остатках, и законсервировать биоуголь в почве вместе с содержащимся в нем углеродом, избегая выбросов от неполного сгорания. Таким образом биоуголь обеспечивает одновременно и метод хранения углерода и повышение плодородия почв, так как является удобрением с высоким содержанием органических веществ. Уже проводятся исследования, целью которых является создание переносных пиролизных установок, с помощью которых растительные отходы, остающиеся после уборочных работ, фермеры смогут перерабатывать в биоуголь (см. www.mistra.org).

Каждый год с наступлением весны Арктика становится все более восприимчивой к переносимым в ее атмосферу загрязнителям краткосрочного действия. Как говорит Чарльз Зендер, «сегодня Арктика задыхается под одеялом из парниковых газов, наброшенным на нее человеком, из-за чего она становится значительно теплее, а ее снега и льды – более уязвимыми к вызванному загрязнением таянию, чем когда-либо за всю новейшую историю человечества».

Медлить с решением проблемы выбросов черного углерода – значит упускать время, в течение которого можно было бы приостановить процесс потепления в Арктике. В Арктике без снега и льда черному углероду уже не придется играть столь значительную роль, как сегодня.

Список литературы:

Antilla, P., Makkonen, U., Kellen, H., Kyllonen, K., Leppanen, S., Saari, H., Hakola, H., 2008. Impact of the open biomass fires in spring and summer of 2006 on the chemical composition of background air in southeastern Finland. *Atmos. Environ.* 42, 64-72-6486.

Barrie, L. A., 1986, Arctic air pollution–an overview of current knowledge, *Atmos. Environ*. 20, 643-663.

Bond, Tami, C., 2007, Testimony for the Hearing on Black Carbon and Climate Change, House Committee on Oversight and Government Reform, US House of Representatives.

Brown, D. G., Johnson, K. M., Loveland, T.R. Theobald, D. M.., 2005, Rural land-use trends in the conterminous United States, 1950-2000. *Ecological Application*s 15, 1851-1863.

Cao, GuoLiang, Zhang, X. Y.., Wang, Y. Q. , Zheng, F. C., 2008, Estimation of emissions from field burning of crop straw in China. *Chinese Science Bulletin* 53, 5, 784-790.

Carlson, T. N., 1981, Speculations on the movement of polluted air to the Arctic, *Atmos. Environ*. 15, 14-73-1477.

Dubinin, M., Potapov, P., Lushchekina, A., Radeloff, V. C., 2009, "Reconstructing recent fire history of Southern Russia using AVHRR." Poster presentation, University of Wisconsin-Madison, Department of Forest and Wildlife Ecology.

Flanner, M. G., Zender, C. S., Randerson, J. T., Rasch, P., 2007, Present-day climate forcing and response from black carbon in snow. *Journal of Geophysical Research* 112, D11202.

Garrett, T. J., and Zhao, C., 2006, Increased Arctic cloud long-wave emissivity associated with pollution from mid-latitudes. *Nature* 440, 787-789.

Goldammer, J. G., Fire Management Working Papers: Global fire resources assessment 2005—Report on fires in the central Asian region and adjacent countries. FAO, Rome, Italy.

Iversen, T., 1984, Atmospheric transport of pollution to the Arctic. *Geophys. Res. Lett.*11 (5), 457-460.

Korontzi, S., McCarty, J., Loboda, T., Kumar, S., and Justice, C., 2006, Global distribution of agricultural fires in croplands from 3 years of moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) data. *Global Biogeochemical Cycles* 20, GB2021.

Kushlin, A. Schillhorn, van Veen T., and Sutton, W., 2004. Kazakhstan: Forest sector in transition. The resource, the users and sustainable use. *World Bank Technical Paper, Europe and Central Asia Environmentally and Socially Sustainable Development Series.* Project Information Document.

Langmann, B, Duncan, B, Textor, C, Trentmann, J., and van der Werf, G.R., 2009, Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate, *Atmos. Environ.* 43, 107-116.

Lubin, D. and Vogelmann, A. M., 2007, Expected magnitude of the Aerosol short-wave indirect effect in springtime Arctic liquid water clouds. *Geophys. Res. Lett.* 34, L11801.

Quinn, P. K., Bates, T. S., Baum, E., Doubleday, N., Fiore, A. M., Flanner, M., Fridlind, A., Garrett, T. J., Koch, D., Menon, S., Shindell, D., Stohl, A., Warren, S. G., 2008, Short-lived pollutants in the Arctic: their climate impact and possible mitigation strategies. *Atmos. Chem. Phys.* 8, 1773-1725.

Randerson, J. T., Liu, H., Flanner, M.G., Chambers, S. C., Jin, Y., Hess, P. G., Pfister, G., Mack, M. C., Treseder, K. K., Welp, L. R., Chapin, F. S., Harden, J. W., Goulden, M. L., Lyons, E., Neff, J. C., Schuur, E. A. G., Zender, C. S., 2006. The impact of boreal forest fire on climate warming. *Science* 314 (5802), 1130-1132.

Randerson, J. T., Giglio, L., Collatz, J., Kasibhatla, P., van der Werf, G., 2007, Global Fire Emissions Database, version 2, available online at: http://ess1.ess.uci.edu/%7Ejranders/data/GFED2/

Schmidt, K. M., Menakis, J. P., Hardy, C. C., Hann, W. A., Bunnel, T. L., 2002. Development of coarse-scale spatial data for wildland fuel and fuel management, United States Department of Agriculture Forest Service. General Technical Report, RMRS-87, Missoula, MT.

Seiler, W. and Crutzen, P. M., 1980, Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climate Change* 2, 207-247.

Sharma, S., Lavou, D., Cachier, H., Barrie, L. A., and Gong, S. L., 2004, Long-term trends of the black carbon concentrations in the Canadian Arctic. *J. of Geophys. Res*, 109, D15203.

Shindell, D., Chin, M., Dentener, F., Doherty, R. M., Faluvegi, G., Fiore., A. M., Hess, P., Koch, D. M., MacKenzie, I. A., Sanderson, M. G., Schultz, M. G., Schultz, M., Stevenson, D. S., Teich, H., Textor, C., Wild, O., Bergmann, D. J., Bey, I., Bian, H., Cuvelier, C., Duncan, B. N., Golberth, G., Horowitz, L. W., Jonson, J., Kaminski, J. W., Marmer, E., Park, R., Pringle, K. J., Schroeder, S., Szopa, S., Takemura, T., Zeng, G., Keating, T. J.,

and Zuber, A., 2008, A multi-model assessment of pollution transport to the Arctic. *Atmos. Chem. Phys.* 8, 5353-5372.

Soja, A. J., Tchebakova, N. M., French, N. H. F., Flannigan, M. D., Shugart, H. H., Stocks, B. J., Sukhinin, A. I., Parfenova, E. I., Chapin, F. S., Stackhouse, P. W., 2007, Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations. *Global and Planetary Change* 56, 274-296.

Soja, A. J., Al-Saadi, J, Giglio, L., Randall, D., Kittaka, C., Pouliot, G., Kordzi, J., Raffuse, S., Pace, T. G., Pierce, T. E., Moore, T., Roy, B., Pierce, R. B., and Szykman, J. J., 2009. Assessing satellite-based fire data for use in the National Emissions Inventory, *Journal of Applied Remote Sensing.*

Stohl, A., 2006, Characteristics of atmospheric transport into the Arctic Troposphere. *J. of Geophys. Res.* 111, D113306.

Stohl, A., Berg, T., Burkart, J. F., Fiaeraa, A. M., Forster, C., Herber, A. , Hov, O., Lunder, C., McMillan, W. W., Oltmans, S., Shiobara, M., Simpson, D., Solberg, S., Stebel, K., Strom, J., Torseth, K., Treffeisen, R., Virkkunen, K, Yttri, K. E., 2007. Arctic smoke—record high pollution levels in the European Arctic due to agricultural fires in spring 2006. *Atmos. Chem. Phys.* 7, 511-534.

United States Department of Agriculture, 2006. Audit Report: Forest Service Large Fire Suppression Costs, Report: No. 08601-44-SF. U.S. Department of Agriculture, office of Inspector General, Washington D.C.

Van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Giglio, L., Collatz, G. J., Kaskibhatla, P. S., Arellano Jr., A. F., 2006. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. *Atmos. Chem. Phys.* 6, 4323-3441.

Warneke, C., Bahereini, R., Brioude, J., Brock, C. A., de Gouw, J. A., Fahey, D. W., Foryd, K. D., Holloway, J. S., Middlebrook., A., Miller, L. Montzka, S., Murphy, D. M., Peischl, J., Ryerson, T. B., Schwarz, J. P., Spackman, J. R., and Veres, P., 2009. Biomass burning in Siberia and Kazakhstan as an important source for haze of the Alaskan Arctic in April 2008. *Geophys. Res. Letts*., 36, L02813.

Warren, S. G., 2008. Stephen Warren: Sampling Arctic snow to determine black carbon concentrations, Interview in International Polar Foundation. Available online at: www.sciencepoles.org/index.php?/articles_interviews.

Zender, Charles. 2007. Arctic Climate Effects of Black Carbon. Written testimony to the oversight and government reform committee. United States House of Representatives. October 18, 2007.